

Ueber die Spannung des Sauerstoffs im arteriellen Blut von Erwin Herter.

(Aus dem physiologisch-chemischen Institute zu Strassburg i. E.)
(Der Redaktion übergeben am 29. Januar.)

Während der procentische Sauerstoffgehalt des Blutes zum Gegenstand zahlreicher und eingehender Untersuchungen geworden ist, sind unsere Kenntnisse über die Spannung des Sauerstoffs im Blute seit den grundlegenden Arbeiten von Lothar Meyer, und Hoppe-Seyler verhältnissmässig wenig gefördert worden. Aus diesen Arbeiten hatte sich ergeben, dass der überwiegend grösste Theil des Sauerstoffgehaltes im Blute innerhalb weiter Grenzen ¹⁾ vom Druck unabhängig, locker chemisch gebunden sei, und zwar, wie sich später herausstellte, gebunden an das Hämoglobin ²⁾. Zur Feststellung der Sauerstoffspannung liess Holmgren ³⁾ das Blut seine Gasspannungen mit einem luftleeren Raume ausgleichen und berechnete aus der procentischen Zusammensetzung der ausgetretenen Gase und dem Gesamtdruck derselben den Partiardruck des Sauerstoffs, welcher eine weitere O-Abgabe verhindert hatte. Nach seinen Bestimmungen würde die O-Spannung des arteriellen Blutes nicht über 20 Mm. Quecksilber, entsprechend 2,6 % einer Atmosphäre hinausgehen. Strassburg ⁴⁾ liess mittelst des Pflüger'schen Aerotonometers (siehe unten) das frische, nicht geronnene Blut an einem geschlös-

¹⁾ Lothar Meyer (Zeitschrift für ration. Medicin, VIII, 1857) untersuchte zwischen 587 und 835 Mm. Hg Sauerstoffdruck (Temperatur 21,1 bis 21,7°); Fernet (Ann. sc. nat., 4me sér., Zool. T. VIII, p. 206; 1857) zwischen 742 und 647 Mm. O-Druck (Temperatur 16°).

²⁾ Hoppe-Seyler, Archiv für pathol. Anatomie, 29, 598.

³⁾ Wiener Sitzber. Bd. 48, Abth. II, p. 646; 1863.

⁴⁾ Archiv f. d. g. Physiologie, 6, 77; 1872.

sehen Raume vorbeiströmen, der Stickstoff, etwas Kohlensäure und wenig oder keinen Sauerstoff enthält. Aus der am Ende der Durchströmung dem Gasgemische ertheilten Zusammensetzung schloss er, dass die O-Spannung des arteriellen Blutes von 2,8 bis 5,6 % einer Atmosphäre (im Mittel 3,9 % = 29,6 Mm. Hg) betrug. Wir haben es hier mit Minimalwerthen zu thun ¹⁾, die weit unter die wahren Spannungswerthe fallen mussten, weil in beiden Fällen das Blut während des Versuches bedeutende Mengen Sauerstoff abgab und dem entsprechend an Spannung verlor. Holmgren's Werth fiel auch desswegen zu niedrig aus, weil seine Versuche zu lange Zeit in Anspruch nahmen (1 bis 2 Stunden): wie aus den Untersuchungen von Pflüger ²⁾ und Alexander Schmidt ³⁾ hervorgeht, musste während dieser Zeit ein Theil des locker gebundenen Sauerstoffs in feste chemische Verbindung übergehen und dadurch eine Senkung der ursprünglichen O-Spannung bewirkt werden.

Die folgenden Versuche bezweckten, für die in vieler Hinsicht wichtige Spannung des Sauerstoffs im arteriellen Blute neue Bestimmungen zu erhalten, welche, unter günstigeren Verhältnissen gewonnen, der wahren Grösse näher kommen sollten als die oben angeführten Minimalwerthe. Ich bediente mich des auch von Strassburg benutzten, ebenso einfachen als vollkommenen Pflüger'schen Aerotonometers, gefüllt mit Stickstoff, dem 1 bis 10,4 % Sauerstoff beigemischt war, und der geringe Mengen von Kohlensäure enthielt.

Das Aerotonometer (Archiv f. d. g. Physiol., 6, 69) besteht aus einem vertical aufgestellten Glasrohr, unten offen, am oberen Theil sich verjüngend und mit einem doppelt durchbohrten Hahn versehen. Dieser Hahn regulirt das Einströmen des Blutes, welches mittelst eines Kautschukschlauches aus der in das Gefäss eingebundenen Canule in das Tonometerrohr geleitet wird. Das untere Ende des Rohrs ist durch einen dicken Kautschukschlauch mit einer T-Röhre in Verbindung.

¹⁾ Wie auch Strassburg (l. c.) ausdrücklich bemerkt.

²⁾ Med. Centralblatt, 1867, No. 46.

³⁾ Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig. Math. phys. Classe 9. Nov. 1867.

Diese ist einerseits mit einem Glasrohr verbunden, welches unter Quecksilber taucht (wenige Millimeter) und zum Austritt des Blutes dient, andererseits vermittelt eines längeren Kautschukschlauchs mit einem beweglichen Quecksilberreservoir, vermittelt dessen Proben der Luft aus dem Tonometerrohr durch eine am oberen Ende desselben seitlich angebrachte Röhre mit Glashahn behufs der Analyse ausgetrieben werden können. Glashähne mit weiter Bohrung, welche ohne Schaden statt der Pflüger'schen Klemmen angewendet werden, dienen dazu, den Raum des Tonometers entweder unter den Druck der Atmosphäre (während des Durchströmens des Blutes) oder unter beliebigen Quecksilberdruck (während der Entnahme der Gasproben) zu setzen. Der Apparat ist von einem weiten Glasrohr umgeben, in welchem durch einen Strom warmen Wassers konstante Temperatur (ca. 40°) erhalten wird.¹⁾

Ogleich alle Theile des Apparates luftdicht schlossen, wurde doch, um sicher den Eintritt von Luft zu verhüten, während der ganzen Dauer der Versuche jeder negative Druck im Apparate vermieden.

Die Analyse der Gase geschah nach Bunsen's Methoden; die Kohlensäure wurde durch Absorption mittelst Kalikugeln, der Sauerstoff durch Verpuffung mit Wasserstoff bestimmt.

Folgende Tabelle giebt die Resultate meiner Versuche, welche an grossen Hunden (von mindestens 11 Kilo Gewicht) angestellt wurden. Das Blut wurde aus der Carotis oder aus der Cruralis entnommen; die Temperatur der Luft schwankte in den einzelnen Versuchen zwischen 4 und 8° C.

Ver- suchs- Nr.	Ver- suchs- thier.	Menge des durchge- strömten Blutes.	Strö- mungs- zeit.	Tempe- ratur.	Gas im Aerotonometer			
					vor der Durch- strömung		nach d. Durch- strömung	
					CO ₂	O	CO ₂	O
1	I	290 Cc.	2 ¹ / ₂ Min.	39°	0,4°	10,36°	4,1°	10,44°
2	II	220 »	3 »	38°	0,0 »	9,3 »	2,6 »	9,8 »
3	I	270 »	3 »	34°	0,9 »	1,0 »	3,0 »	2,2 »
4	III	260 »	3 »	36°	0,6 »	5,0 »	2,3 »	5,1 »
5	III	400 »	3 »	40°	0,0 »	8,0 »	3,8 »	8,4 »

Anmerkung. Versuch 3 wurde an Hund I (11,17 Kilo) 28 Tage nach Versuch 1 angestellt; Versuch 5 an Hund III (einem sehr grossen Thier) 6 Tage nach Versuch 4.

Aus obigen Zahlen erhellt, dass die O-Spannung des arteriellen Blutes bedeutend über den oben erwähnten Minimalwerthen liegt. Bei einer Sauerstoffspannung von 8,0 resp.

¹⁾ Eine Abbildung des benutzten Aerotonometers in der oben beschriebenen Anordnung findet sich in Hoppe-Seyler's Lehrbuch der physiologischen Chemie, III. Theil.

9,3 % wurden noch erhebliche Zunahmen des O-Gehalts der Tonometerluft (bis 8,4 resp. 9,8 %, entspr. 63,1 und 73,5 Mm. Hg) constatirt. Die sehr geringe Zunahme in Versuch 4 liegt allerdings innerhalb der Fehlergrenzen, aber die 3,7 % CO₂, welche das Blut an den Tonometerraum abgab, hätten eine Herabsetzung der O-Spannung bewirken müssen, wenn nicht das Blut die zur Compensation derselben nöthige Sauerstoffmenge geliefert hätte; somit ist auch in diesem Falle eine Abgabe von Sauerstoff aus dem Blute erwiesen und die O-Spannung desselben lag also über 10,36 % einer Atmosphäre. Wir dürfen demnach als Resultat obiger Bestimmungen ansehen, dass die Sauerstoffspannung des arteriellen Blutes unter normalen Verhältnissen einem O-Druck von 78,7 Mm. Hg, entsprechend ungefähr der Hälfte des O-Partiardrucks in der Atmosphäre, das Gleichgewicht hält.

Dieser Werth ist auch ein Minimalwerth, da er durch O-Abgabe während des Versuches erhalten wurde; die Feststellung der absoluten Sauerstoffspannung würde eine Reihe von Versuchen mit Tonometerspannungen über 10 % O erfordern, und diese Versuche müssten zahlreich sein, um die zu erhaltenden kleinen Spannungsdifferenzen gegen die Wirkung der Analysenfehler zu sichern. Die Feststellung der absoluten Grösse würde übrigens keinen grossen physiologischen Werthe besitzen, denn für den Physiologen concentrirt sich das Hauptinteresse an unserem Gegenstande in der Frage: Liegt die O-Spannung des arteriellen Blutes über dem Dissociationsdruck des Oxyhämoglobins bei der Temperatur des Thierkörpers, und ist, da der einfach absorbirte Theil des Blutsauerstoffs wegen seiner Kleinheit für den thierischen Stoffwechsel ohne Bedeutung ist, ist also das arterielle Blut unter normalen Verhältnissen mit Sauerstoff gesättigt?

Ueber die Dissociationsverhältnisse des Oxyhämoglobins liegt eine Untersuchung von Worm Müller vor¹⁾, welcher die von ihm erhaltenen Resultate folgender-

¹⁾ Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig, V, 1871, p. 166.

massen zusammenfasst: «Die Sättigung der Blutscheiben mit O nimmt unterhalb einer gewissen Druckgrenze des O der Luft mit der Verringerung des Druckes ab. Es ist höchst wahrscheinlich, dass diese Druckgrenze bei der Aufnahme des O in das Blut (bei 20—23° C. zwischen 20—35 Mm.) gewöhnlich höher (ca. 10 Mm.) liegt, als diejenige, unterhalb welcher das vollkommen gesättigte Blut chemisch gebundenen O abgibt (bei 20—23° C. zwischen 15—20 Mm.); es ist demnach zu vermuthen, dass die Grenze bei 40° C. in jenem Falle zwischen 30—40 Mm. in diesem zwischen 20—25 Mm. liegt.» Bert (Pression barometrique, p. 683 ff.) giebt als Druckgrenze, wo bei allmäliger Depression grössere Mengen O vom Blute abgegeben werden, für niedere Temperaturen (11,4° bis 24°) 150—100 Mm. Hg Luftdruck (entsprechend 31,3—20,9 Mm. O-Druck) an. Einige Versuche, welche Bert bei 37—40° angestellt hat (l. c. p. 695), scheinen für einen sehr hohen Dissociationsdruck des O-Hämoglobins bei Körpertemperatur zu sprechen, doch stimmen die erhaltenen Resultate unter sich nicht gut überein und bieten bei den angewendeten wenig genauen Methoden der Analyse ¹⁾ geringe Beweiskraft. Wir dürfen daher immerhin annehmen, dass die Dissociationsspannung des Oxyhämoglobins auch bei Körpertemperatur unter dem für die O-Spannung des arteriellen Blutes gefundenen Werthe liegt und können somit das arterielle Blut als mit Sauerstoff gesättigt ansehen.

Nach Pflüger ²⁾ ist das Blut der Arterien nahezu (⁹/₁₀) aber nicht absolut mit Sauerstoff gesättigt; auch nach Gréhant ³⁾ findet beim Passiren der Lungen keine Sättigung des Blutes mit Sauerstoff statt. Diese negativen Aussprüche beruhen im wesentlichen auf vergleichenden Bestimmungen des aus dem arteriellen Blute auspumpbaren Sauerstoffs mit dem aus defibrinirtem, mit überschüssiger

¹⁾ Absorption der Kohlensäure durch Kalilösung, des Sauerstoffs durch pyrogallussaures Kali.

²⁾ Archiv f. d. ges. Physiol. **1**, 73.

³⁾ Comptes rendus **75**, 495; 1872.

Luft geschütteltem Blute auf demselben Wege zu gewinnenden Sauerstoffmengen. So fand Pflüger in einem Falle, dass arterielles Blut, welches 18,8 Cc. O an das Vacuum abgab, nach Schütteln mit Luft 19,9 Cc. O lieferte. Pflüger fand aber selbst (l. c.), dass das Blut gerade in den ersten Minuten nach dem Verlassen der Gefässe einen erheblichen Theil seines Sauerstoffs in feste Verbindung überführt, während es sich später mehr indifferent gegen denselben verhält, so lange die Fäulniss abgehalten wird¹⁾; darum musste das mit O geschüttelte defibrinirte Blut mehr Gas liefern als das direkt der Ader entnommene, ein Einwand, den sich Pflüger übrigens selbst machte (l. c., p. 71). Derselbe Autor findet ferner in dem von ihm constatirten Auf- und Abschwanken des O-Gehalts im arteriellen Blute einen Beweis dafür, dass dasselbe nicht vollständig mit Sauerstoff gesättigt sei; man kann aber dieses Verhalten auch so deuten, dass Veränderungen in dem normalen, ruhigen Verhalten des Thieres, besonders in Bezug auf die Respiration und auf die stets die Respiration beeinträchtigenden Körperbewegungen, die normale Sättigung des Blutes mit Sauerstoff in wechselndem Grade verhindern.

In einem der obigen Versuche (Nr. 4) stieg trotz des niedrigen Gehalts der Tonometerluft (5,0 %) die O-Spannung nur um 0,1 %; vielleicht war hier die Spannung des O im Blute vorübergehend unter die Norm gesunken²⁾, vielleicht auch war das gerade in diesem Versuche grössere Luftquantum im Tonometerrohr Ursache der geringen procentischen Steigerung des Sauerstoffs.

Für die unter normalen Verhältnissen eintretende Sättigung des arteriellen Blutes mit Sauerstoff sprechen schliesslich die Analysen der Blutgase, welche Bert (l. c. p. 660)

¹⁾ Hoppe-Seyler, Med. chem. Untersuch., p. 135, 1866
Pflüger, Archiv f. d. g. Physiologie, I, 277, 1868.

²⁾ Es verdient hervorgehoben zu werden, dass in allen diesen Versuchen die Bedingungen für die Respiration durchaus keine besonders günstige waren; die Thiere wurden mit zugebundener Schnatze durch Fesselung der Extremitäten in Rückenlage gehalten.

an Hunden beim Athmen comprimierter Luft ausgeführt hat. Das hier bei Vermehrung des Luftdrucks (von 1 bis zu 10 Atmosphären) im Blute gefundene Plus an Sauerstoff ist in einigen Fällen so gering, dass die Differenzen in der entsprechend dem erhöhten Druck vermehrten Absorption des Sauerstoffs ihre genügende Erklärung finden; die Annahme einer erst bei Athmung unter höherem Druck erfolgenden Sättigung des Oxyhämoglobins in den Lungen ¹⁾ erscheint demnach höchst unwahrscheinlich.

¹⁾ Bert., Comptes rendus 86, 546; 1878.